LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

Introducción

La Revolución científica es el término usado tradicionalmente para describir los espectaculares triunfos intelectuales de la astronomía y de la ciencia física europeas de los siglos XVI y XVII. Alrededor de 1700, los hombres cultos concibieron el universo como una estructura mecánica semejante a un reloj; la Tierra era vista como un planeta que giraba alrededor del Sol y se suponía que los misterios de la naturaleza estaban abiertos a la investigación por medio de la experimentación y el análisis matemático. Estas nuevas actitudes hacia el mundo natural se hallan en notable contraste con la concepción tradicional de la naturaleza: la Tierra estaba inmóvil y ocupaba el centro del cosmos, el cual era visto, por su parte, como una estructura de esferas cristalinas que rodeaban la Tierra a la manera de las capas de una cebolla; la naturaleza se concebía como un organismo vivo, una estructura conexa, unida por una red de activos poderes ocultos.

El cambio principal en la perspectiva que condujo a la aparición de la concepción del universo como aparato de relojería estaba estrechamente asociado a una transformación cultural más amplia, en la que la adquisición del conocimiento natural y la obtención del control de la naturaleza estaban asociados con el destino religioso del hombre. La aparición de la ciencia natural a comienzos de la época moderna, como un rasgo seminal de la cultura europea, debe ser interpretada en relación con el fermento social e intelectual del período. Descrita por Herbert Butterfield como el acontecimiento más importante de la historia europea desde la aparición del cristianismo, la Revolución científica aportó una nueva confianza en el valor de la investigación de la naturaleza y su control, un desarrollo que es fundamental para entender la importancia de la ciencia en la sociedad moderna.

El siglo XVII se caracterizó por un optimismo sin precedentes con respecto a la capacidad de progreso humano a través del perfeccionamiento tecnológico y de la comprensión del mundo natural. Se expresó la esperanza de que la comprensión y el control de la naturaleza perfeccionarían las técnicas de la industria y la agricultura. Sin embargo, había una gran laguna entre la intención y el resultado final en la aplicación del conocimiento científico. Mientras eran frecuentes las afirmaciones sobre la utilidad práctica del conocimiento natural y sus presuntas implicaciones para el avance tecnológico, el cultivo de la ciencia tuvo escaso efecto sobre la relación entre el hom-

bre y su ambiente en el siglo XVII. No obstante, los valores culturales, asociados con la búsqueda de conocimiento natural, eran una característica significativa de la sociedad del XVII. La ciencia expresaba los valores del progreso tecnológico, de la ilustración intelectual y de la glorificación de la sabiduría divina en la creación del mundo. El ámbito hostil y misterioso del mundo natural rendiría sus secretos a la investigación humana. La creencia en la capacidad del ingenio humano para alcanzar el dominio sobre la naturaleza se justificaba mediante el argumento de que el estudio del libro divino de la naturaleza era complementario al estudio de la Biblia, el libro de la palabra de Dios.

Estos cambios importantes en las actitudes culturales transformaron claramente la concepción del cosmos y del lugar del hombre en la naturaleza. La aceptación del universo mecanicista y la creencia de que debía haber una pluralidad de mundos como la Tierra en el espacio infinito amenazaron los presupuestos tradicionales sobre la singularidad del hombre, llegando a negar la doctrina de que el cosmos había sido creado para su beneficio. Se produjo un debilitamiento de las creencias tradicionales en la astrología, la brujería y la curación mágica. Mientras los métodos de la ciencia racional no consiguieron proporcionar sustitutos técnicos eficaces a la magia en el siglo XVII, se produjeron algunos perfeccionamientos en el control humano del medio. Lo que es más importante: hubo una creencia creciente en la capacidad del hombre para conseguir el dominio científico del mundo natural, por medio de la innovación técnica. El conocimiento natural proporcionó una clave esencial para el progreso humano.

La religión desempeñó un papel importante al fomentar la creencia de que era capital para el destino del hombre una comprensión de la naturaleza. Se subrayó la armonía entre lo natural y lo divino y el estudio del libro divino de la naturaleza fue visto como complemento obligado del estudio del libro de la palabra de Dios. La comprensión de la naturaleza y el logro del control técnico sobre el mundo natural fueron considerados como dirigidos hacia un fin religioso. La adquisición del conocimiento natural se consideró como una obligación religiosa, el estudio de la sabiduría divina revelada en el universo. La búsqueda controlada y organizada del conocimiento científico fue, por tanto, sancionada por sus últimos fines religiosos.

La asociación tradicional entre la sabiduría revelada del cristianismo y el conocimiento natural de los filósofos condujo a considerables tensiones intelectuales en el siglo XVII. La concepción tradicional de la teología como reina de las ciencias expresaba la autoridad del cristianismo y su dominio sobre otras formas de conocimiento. El cambio radical en la concepción humana del cosmos en el siglo XVII llevó a un reajuste de la autoridad de la teología y de la visión tradicional de su lugar. Mientras la búsqueda de conocimiento natural estaba justificada frecuentemente afirmando que eran compatibles la doctrina cristiana y el estudio de la naturaleza y, además, que

la investigación racional del plan divino de la naturaleza era una parte esencial de la piedad cristiana, la declaración de la independencia del conocimiento natural respecto al control teológico se convirtió en un lugar común en el siglo XVII. El principal empuje del movimiento científico del siglo XVII fue el afirmar la independencia e integridad de los métodos y teorías de la ciencia, mientras, al mismo tiempo, se insistía en que el estudio de la naturaleza por la razón humana permitiría al hombre comprender más plenamente las intenciones de Dios.

La visión mecanicista del mundo, propia de la Revolución científica, minó muchas ideas tradicionales sobre el lugar del hombre en la naturaleza. Más importante que el establecimiento de cualquier teoría particular sobre el mundo natural es el cambio que se alcanzó en la perspectiva filosófica: una nueva concepción de la capacidad humana para entender y controlar el mundo que le rodeaba. La idea del hombre como operador activo reemplazó a la noción del hombre como espectador pasivo. El movimiento científico expresó una perspectiva esencialmente optimista, una creencia en la posibilidad de lograr una comprensión racional. Para los intelectuales de la Ilustración del siglo XVIII, la ciencia procuraba un modelo para todo conocimiento racional. Por estas razones, la Revolución científica es un acontecimiento de enorme importancia en la historia europea.

La imagen medieval del mundo

La recuperación del saber griego en la Europa occidental, a través del mundo islámico, que comenzó en el siglo XII, inició un florecimiento extraordinario del debate filosófico. En el siglo XIII, las universidades de París, Oxford y Bolonia eran centros de estudio de ciencia y filosofía. Se estudiaron las obras de Aristóteles, y la lógica, física, cosmología y matemáticas formaron la base del plan de estudios. La ciencia y la medicina islámicas seguían siendo ciencia «griega» puesto que, aunque se lograron algunos perfeccionamientos en la observación, los instrumentos y las matemáticas, el marco esencial de las ideas siguió determinado por los escritos de autores antiguos. La obra de Aristóteles tenía importancia especial en la tradición islámica, y siguió teniéndola en Occidente, cuando se tradujeron los textos griegos y árabes al latín. En las nuevas universidades de Europa occidental, los textos aristotélicos y los comentarios sobre ellos, formaron la base para el estudio. Muchas de las cuestiones discutidas eran las planteadas por la física y la cosmología de Aristóteles. Sin embargo, muchos de los argumentos de Aristóteles fueron sometidos a una crítica aguda por parte de los estudiosos medievales.

Según la cosmología de Aristóteles, se suponía que el universo era esférico, con la Tierra en su centro. Se suponía que la Luna, el Sol y los planetas giraban alrededor de la Tierra, central e inmóvil, y se sostenía que estaban

encajados en una estructura estratificada de esferas «cristalinas». Aristóteles subrayó una distinción fundamental de carácter entre estas regiones celestes y el escenario habitado por el hombre sobre la Tierra central. Los cielos eran inmutables y perfectos y su movimiento era el perfecto movimiento circular. En contraste, la Tierra era el dominio del cambio, generación y corrupción; en ella, las sustancias se componían de cuatro elementos —tierra, agua, aire y fuego—, tendiendo cada uno de ellos a su «lugar natural», la tierra hacia el centro, seguida por el agua, el aire y el fuego. Este esquema tuvo su origen en observaciones sencillas: las piedras (a las que se suponía «terrosas») caen, mientras el fuego se eleva; y Aristóteles sostuvo que un cuerpo «terroso» pesado se moverá naturalmente hacia abajo, a su lugar «natural», el centro del universo. Los cambios en los cuerpos se explicaron en términos de las causas productoras del cambio. Así, la causa de la caída hacia la Tierra de una piedra era su tendencia a caer hacia su lugar natural; y la piedra debía ser movida por alguna causa externa, si era arrojada a través del aire. En los escritos de Tomás de Aquino (1225-1274), las ideas físicas de Aristóteles fueron utilizadas para construir comentarios sobre textos bíblicos, y para intentar probar la existencia de Dios. La teoría aristotélica de las causas, según la cual debe haber una primera causa en la naturaleza, se usó para apoyar la idea del Dios creador del universo. Tomás de Aquino pretendía así asimilar la doctrina cristiana a la filosofía de Aristóteles.

No obstante, los teólogos eran conscientes de que muchas ideas aristotélicas, tales como la opinión de que el universo ha existido eternamente, contradecían la doctrina cristiana. Ésta y otras doctrinas que desafiaron la fe cristiana fueron condenadas por el obispo de París en 1277, provocando un debilitamiento de la confianza en las explicaciones físicas ofrecidas por Aristóteles. Al presentar alternativas a las teorías de Aristóteles, los filósofos no discutieron tanto la plausibilidad de la ciencia aristotélica, como cuestionaron la autoridad de las explicaciones físicas en general. Su objetivo era demostrar que las alternativas a la doctrina aristotélica eran plausibles y, desde aquí, establecer las variedades y posibilidades de explicación, así como acentuar la falta de certeza de todo conocimiento natural. Mientras Aristóteles había sostenido la inmovilidad de la Tierra y la rotación diaria de los cielos, Nicolás de Oresme (muerto en 1382) mantuvo que los fenómenos podían interpretarse con la misma corrección suponiendo lo contrario. Oresme no afirmó la rotación diaria de la Tierra —de hecho, citó la Biblia en apoyo de la doctrina de la inmovilidad de la Tierra— sino que presentó su tesis como una refutación de cualquier tentativa para establecer un argumento razonado y una teoría física como fuentes válidas de conocimiento. La elección entre una Tierra en movimiento y una inmóvil debía hacerse por fe antes que por recurso al argumento filosófico. La doctrina cristiana era la única autoridad válida para el conocimiento; la teología era la reina de las ciencias.

Aunque la imagen general del mundo ofrecida por Aristóteles siguió siendo la teoría del universo aceptada, los comentarios de los escritores medievales ofrecieron alternativas plausibles a la física y a la cosmología de Aristóteles; sus argumentos fueron adaptados posteriormente por Copérnico y Galileo, y usados con propósito polémico. La intención de estas disputas filosóficas, que ofrecían alternativas a la explicación aristotélica del movimiento de los cuerpos y de la supuesta inmovilidad de la Tierra, era, por consiguiente, reforzar la autoridad de la doctrina cristiana como fuente última del conocimiento. Aunque existía un ámbito para la teoría física y el estudio del mundo natural, cualquier contradicción aparente entre conocimiento revelado y conocimiento natural surgía del error humano. Las limitaciones de la razón humana implicaban que sólo la doctrina cristiana podía servir como autoridad última para el conocimiento humano.

Las teorías renacentistas de la naturaleza

Los historiadores usan el término «Renacimiento» para referirse a un conjunto de acontecimientos en la historia europea, que abarca el período comprendido desde 1300 a 1600, dando a entender un renacimiento en las artes y en el saber. La dificultad de definir estos acontecimientos y el propio período ha dado lugar a una gran discusión entre los historiadores a partir de 1860, fecha en la que, en su *Civilisation of the Renaissance in Italy*,* Jacob Burckhardt definió el período en términos del desarrollo de la idea del individuo como personalidad y como ciudadano, el estudio de los textos literarios griegos y romanos y el descubrimiento del mundo y del hombre a través de los viajes de exploración, la observación de la naturaleza y el colapso de las ideas medievales sobre la sociedad y la naturaleza. El período es discutido generalmente con referencia al arte y a la historia de la literatura, pero hubo desarrollos importantes en el estudio del mundo natural, que evocan temas renacentistas característicos, como son el renacimiento del saber, el cuestionamiento de Aristóteles, la búsqueda de textos de la Antigüedad clásica y la creencia en la unidad del conocimiento y el poder humanos sobre la naturaleza.

El interés por la magia natural, el control de la naturaleza a través de la manipulación de propiedades y poderes ocultos, es un tema dominante en el estudio del mundo natural en los siglos XV y XVI. Se identificaron el control y el conocimiento de la naturaleza, y la magia fue concebida como la búsqueda de la sabiduría a través del estudio de las verdades divinas, reveladas en el mundo natural. La magia natural del Renacimiento fue un intento de

* Hay traducción castellana: *La cultura del Renacimiento en Italia*, Iberia, Barcelona, 1971 *(N. de la t.)*.

alcanzar una armonía entre fe y razón. La adopción del Aristóteles ateo por parte de los filósofos medievales fue replicada con la tentativa, por parte de los magos naturales del Renacimiento, de buscar verdades divinas en el libro divino de la naturaleza. Se sostuvo que la naturaleza cedería sus secretos mediante el estudio de sus poderes ocultos, ayudado por la revelación divina, no por el estudio de textos paganos.

La investigación del mundo natural por medio de la alquimia y la magia natural fue legitimada por la recuperación en el Renacimiento de un grupo de textos atribuidos a Hermes Trimegisto (el «tres veces grande»). Aunque escritos, de hecho, aproximadamente entre el 100 y el 300 d.C., y producto de la cultura de la Alejandría helenística, se creía que eran de una gran antigüedad. Los escritos «herméticos» contienen una mezcla notable de elementos místicos, cristianos y mágicos y se consideraba que eran de antiguo origen egipcio, que se remontaba a la época de Moisés. Estos textos fueron traducidos hacia 1460 por el estudioso florentino Marsilio Ficino (1433-1499), y se los consideró como la fuente de la filosofía griega. Los mejores elementos de la filosofía griega, en especial las ideas de Platón, fueron vistos como derivaciones de una fuente antigua que pertenecía a la tradición cristiana, pues los textos herméticos contienen muchos ecos de doctrinas cristianas. Los pensadores renacentistas afianzaron así la armonía entre la teología cristiana y la visión del mundo natural, presente en los textos herméticos.

Los escritos herméticos subrayaban una cosmología astrológica en la que los ámbitos terrestre y celeste, la Tierra central y las esferas de los planetas, están conectados en un entramado de afinidades y correspondencias. El hermetismo postulaba una visión encantada del mundo, en la que se sostenía que la materia estaba impregnada de un espíritu activo a través del cual actuaban las influencias celestes. La meta de la magia natural era apoderarse de los poderes ocultos de la naturaleza y de las leyes de simpatía y antipatía entre las cosas materiales mediante la activación del planeta, el metal, la gema o la planta en la que el espíritu activo estaba acumulado. Por lo tanto, el cosmos era percibido como una estructura unificada, en la que los ámbitos terrestre y celeste estaban enlazados por una red de poderes activos pero ocultos.

En esta omnipresente concepción renacentista de la naturaleza, cuya influencia perduró hasta mediados del siglo XVII, el hombre era concebido como un mago natural, dotado de poderes especiales para controlar el mundo natural. Se pensaba que el hombre era el punto focal de la cadena del ser entre materia y espíritu. El hombre era el espejo del universo; había una analogía entre el hombre, microcosmos, y el macrocosmos del universo. Mediante la activación de agentes espirituales, por medio de la magia natural y la alquimia, el hombre podría controlar los poderes del universo. La sabiduría oculta de Hermes, que se había perdido, podía ser recuperada mediante el estudio de los textos herméticos y el intento de descubrir las afinidades y correspondencias ocultas entre la Tierra y las regiones celestes, animales y plantas, microcosmos y macrocosmos. La magia natural pretendía explotar la red de poderes ocultos, revelados, por ejemplo, en la analogía entre el brillo de las gemas y la luminosidad de las estrellas y planetas en el reino celeste.

Las analogías y correspondencias que unificaban el mundo natural se inferían, generalmente, a partir de simples observaciones. La semejanza fortuita entre la forma de una raíz y un órgano humano podían indicar una afinidad oculta y sugerir el uso específico de la raíz en medicina. Se consideraba que las piedras preciosas tenían un significado astrológico a causa de su brillo. La teoría de las analogías indicaba un sistema de clasificación bastante diferente del empleado en la ciencia moderna, donde las piedras preciosas, rocas y fósiles son distinguidos por su naturaleza y origen físicos, y no son clasificados según semejanzas superficiales y fortuitas de forma o color.

Al subrayar que el hombre era el manipulador de poderes ocultos en la naturaleza, el hermetismo implicaba también a las matemáticas como la clave para la comprensión de la realidad esencial, oculta tras los fenómenos visibles. El antiguo filósofo griego, Pitágoras, gozó de gran prestigio en el Renacimiento a causa de su énfasis en el número como la base de toda verdad en la naturaleza. La creencia de que el universo estaba formado sobre la base de principios numéricos fue fundamental para la filosofía de Platón y se convirtió en un ingrediente importante de la magia natural renacentista. La creencia renacentista en que las armonías matemáticas fundamentales determinaban la estructura de la naturaleza resultó crucial en la obra astronómica de Copérnico y Kepler.

El énfasis hermético sobre las vías en que los poderes del universo podían ser capturados y controlados para fines humanos era un rasgo significativo de la magia natural renacentista. El estudio de la alquimia llegó a ser especialmente importante en tanto que los textos alquimistas pretendían ofrecer un conocimiento secreto sobre el control de los procesos naturales, mientras acentuaban la evidencia obtenida mediante la observación y el cultivo cuidadoso de procesos de laboratorio. Los textos alquimistas estaban asociados estrechamente con los escritos herméticos y, en el Renacimiento, las operaciones del alquimista eran concebidas en términos religiosos, siendo vistos los procesos alquimistas como contrapartida de los ritos cristianos. La obra de Paracelso (1493-1541) desarrolló ideas alquimistas y herméticas, aspirando a crear una ciencia universal de la naturaleza, basada en las correspondencias y analogías que unen a los poderes activos de la naturaleza. El hombre era visto como el ser que unía en sí mismo los componentes del mundo natural, y el conocimiento había de ser adquirido por medio de la observación y la apelación a la inspiración divina. Paracelso concebía la alquimia como proveedora de la clave para la comprensión de la naturaleza.

Los conceptos alquimistas ofrecían un medio para explicar la composición de la materia y procuraban la base para una nueva teoría de la medicina. El énfasis sobre la observación y el control de la naturaleza con fines humanos, unido a la afirmación de Paracelso de que su filosofía química lograría la recuperación del conocimiento perdido con la expulsión de Adán del Paraíso, fueron doctrinas importantes que dieron forma a la Revolución científica.

La tecnología y las artes mecánicas

Los eruditos renacentistas señalaron con frecuencia tres grandes desarrollos en las artes mecánicas: los inventos de la imprenta, la pólvora y la brújula, los cuales contribuyeron notablemente al rápido desarrollo de las sociedades europeas del período. El invento del cañón promovió el estudio de la balística y una variedad de mejoras metalúrgicas, la brújula favoreció la exploración del mundo, llevando a un interés por las tablas astronómicas con el fin de ayudar a la navegación, mientras la invención de la imprenta aceleró enormemente la difusión de las ideas y del saber. A comienzos del siglo XVII, hombres como Galileo Galilei (1564-1642) y Francis Bacon (1561-1626) subrayaron las mejoras contemporáneas en las artes mecánicas y su relevancia para la práctica científica. La fundación de Gresham's College en Londres, a finales del siglo XVI, donde los profesores acentuaron las relaciones entre la ciencia y las artes mecánicas, fomentó la aplicación práctica del conocimiento matemático, químico y médico. El desarrollo de la magia natural, especialmente la obra de Paracelso, que ejerció una influencia importante a finales del siglo XVI, favoreció el empirismo, que subrayaba el papel crucial de la experiencia adquirida a través de operaciones manuales. Las artes mecánicas presentaron una nueva información tecnológica, técnicas y aparatos, suministrando nuevos instrumentos tales como el telescopio, el cual, en las manos de Galileo, tuvo un impacto dramático sobre la concepción humana del cosmos. Se consiguieron importantes mejoras tecnológicas en topografía, navegación, metalurgia, tintes y terapéutica, con lo que se abrió un nuevo ámbito para los problemas técnicos y las técnicas.

De todas formas, existe una gran diferencia entre estos desarrollos en las artes mecánicas y los estudios empíricos, sistemáticos y controlados de la naturaleza, característicos de los experimentos científicos. Sin embargo, los tres inventos de la imprenta, la pólvora y la brújula representaron un símbolo importante del progreso científico al indicar la esterilidad del conocimiento académico contemporáneo y el valor de lo que podía ser obtenido a partir de nuevas fuentes de conocimiento, basadas en la experiencia práctica. Al apelar a estos tres inventos, Bacon reclamaba una síntesis de los estudios empíricos y filosóficos de la naturaleza; similarmente, a pesar de admitir la nobleza

de las metas de Paracelso y de sus seguidores, censuró su uso de la magia natural y su apelación a la inspiración divina como una perversión de los métodos experimentales, disciplinados y racionales que debían caracterizar el estudio del mundo natural.

Brujería y magia popular en el Renacimiento

La cosmología mágica predominante en el Renacimiento dominó, a un tiempo, la cultura popular y la culta. Había una creencia extendida en el infierno como un lugar de tormento físico, y en el diablo como una personalidad con la que las brujas hacían pactos. El auge del Protestantismo en el siglo XVI reforzó estas creencias, acentuando la batalla con el diablo como un agente del juicio de Dios. Aunque había un cierto escepticismo culto sobre la existencia de las brujas, estaba extendida la creencia de que existían individuos (generalmente mujeres) que practicaban el mal por medios ocultos al servicio del diablo. Muchos intelectuales trataron de establecer las credenciales de la brujería argumentando que las brujas manipulaban los poderes activos ocultos del universo con propósitos malignos. La creencia general en el poder de las imágenes y en las afinidades que ligaban cuerpos naturales diversos sirvió para reforzar la creencia de los hombres cultos en las potencialidades de la brujería.

Las creencias mágicas florecieron en una sociedad en la que la incapacidad humana era manifiesta. El precario suministro de comida, la carencia de higiene y sanidad, las limitaciones en el conocimiento de la enfermedad, todo contribuyó a una sociedad en la que había una baja expectativa de vida. La profesión médica era incapaz de ofrecer remedios efectivos; tratamientos tales como las sangrías eran fundamentalmente malentendidos y los médicos eran bastante incapaces de tratar enfermedades graves, tales como la fiebre tifoidea, la viruela y la peste bubónica, que eran endémicas. Había una extendida vulnerabilidad para las desgracias tales como el fuego y la pérdida de cultivos, y las creencias mágicas florecieron en un ambiente en el que eran frecuentes las catástrofes naturales. La mentalidad popular creía que la eficacia de la oración era similar a la de los hechizos mágicos, y los sacramentos de la Iglesia se asociaron con las prácticas mágicas. La Reforma atacó las asociaciones mágicas de las prácticas religiosas; sin embargo, mientras el Protestantismo acentuaba la providencia divina, el brujo del pueblo o la mujer sabia presentaban la magia como un medio para la mejora de la suerte humana. La astrología pretendía ofrecer una valoración del curso de las acciones humanas mediante el recurso a los movimientos de los planetas, una creencia justificada por la doctrina de las correspondencias que sostenía la noción de la influencia astrológica de los cuerpos celestes en los acontecimientos terrestres. La curación mágica mediante el uso de talis-

manes encontró un apoyo en las opiniones de los eruditos sobre los poderes ocultos que impregnaban el ámbito de la naturaleza, y sobre el efecto de los encantamientos y hechizos en los objetos físicos. Este cosmos encantado del Renacimiento debía experimentar un golpe mortal con la emergencia de la teoría del universo como un sistema mecánico; junto con el aumento gradual del control humano sobre el medio natural, esta nueva perspectiva intelectual condujo, finalmente, a un debilitamiento de las creencias tradicionales en la brujería y la curación mágica.

La concepción de la naturaleza predominante en los siglos XV y XVI era orgánica; la naturaleza era concebida como un organismo vivo, de partes estructuradas jerárquicamente e interconectadas. El control de la naturaleza dependía de la manipulación de esas conexiones. Esta metáfora de la naturaleza como un organismo había de ser reemplazada en el siglo XVII por la metáfora de la naturaleza como una máquina. La revolución en el pensamiento astronómico, que desplazó a la Tierra del centro del cosmos y destruyó la visión renacentista del cosmos astrológico, fue de la mayor importancia en este desarrollo.

La revolución copernicana

La publicación de *Sobre las revoluciones de los orbes celestes** por el astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543), inició una transformación en la concepción del universo. La teoría copernicana intentó una reestructuración y sistematización de la astronomía, una revisión global del sistema matemático de Claudio Ptolomeo (siglo II d. C.) que había formado la base de la teoría astronómica hasta el siglo XVI. El *Almagesto* de Ptolomeo es un desarrollo detallado y sistemático de los métodos de la astronomía griega, a partir del supuesto de un cosmos geocéntrico, con la Luna, el Sol y los planetas fijos en esferas que giran alrededor de la Tierra. Esta visión del cosmos revelaba la estructura del universo, pero no daba en sí misma cuenta completa de los complejos movimientos de los planetas y de la Luna, tal y como se revelaban a la observación a simple vista. Los astrónomos griegos, por lo tanto, habían ideado una compleja teoría de astronomía matemática que pretendía, mediante la construcción de elaborados modelos geométricos, procurar una explicación cuantitativa precisa del esquema de los movimientos planetarios. El *Almagesto* de Ptolomeo representa la culminación de esta tradición de astronomía matemática, y los modelos y métodos empleados por Ptolomeo configuraron la teoría astronómica posterior, incluyendo la de Copérnico.

La naturaleza del problema que complicó el trabajo de estos astrónomos

* La traducción castellana ha sido publicada por Editora Nacional, Madrid, 1982 *(N. de la t.)*.

puede ser formulada con bastante simplicidad: la Tierra no está en el centro del sistema planetario, sino que los planetas (incluyendo la Tierra) siguen órbitas elípticas alrededor del Sol. La total comprensión de este hecho básico de la geometría planetaria no llegó hasta la obra de Kepler, a comienzos del siglo XVII. Al intentar reproducir los movimientos de los planetas mediante trayectorias circulares alrededor de la Tierra, Ptolomeo omitió considerar la manera en la que están determinadas las observaciones planetarias tanto por el movimiento de la Tierra como por los movimientos de los planetas mismos. Debido al movimiento mismo de la Tierra alrededor del Sol, las trayectorias de los planetas, vistas desde la Tierra, parecen complejas y desordenadas, completamente en desacuerdo con el supuesto de una Tierra central e inmóvil, circundada por planetas en trayectorias circulares.

Para dar cuenta de estas observaciones y, sin embargo, mantener, al mismo tiempo, el supuesto de una Tierra central y estática, Ptolomeo empleó un complejo modelo geométrico que fue diseñado para representar movimientos planetarios en conformidad con los datos observados. Este modelo geométrico no estaba destinado para representar las trayectorias reales de los planetas, sino simplemente para proporcionar un sistema matemático, basado en combinaciones complejas de movimientos circulares, capaz de calcular y predecir las trayectorias de los planetas. Hasta la época de Copérnico, este intento de «salvar las apariencias», esto es, predecir los movimientos planetarios conservando, al mismo tiempo, la teoría aristotélica de una Tierra central e inmóvil, dominó toda la actividad astronómica.

La obra de Copérnico contradecía el *Almagesto* de Ptolomeo en varios aspectos fundamentales. Copérnico sostenía que el Sol, no la Tierra, era el centro del cosmos; que la Tierra era un planeta y, al igual que los demás planetas, se movía en una órbita circular alrededor del Sol; y que, además de su movimiento anual alrededor del Sol, la Tierra giraba diariamente sobre su propio eje. El supuesto de la rotación diaria de la Tierra explicaba la sucesión de noche y día. El concepto de un cosmos heliocéntrico, con la Tierra en movimiento, explicaba inmediatamente, en principio, la forma en que los planetas aparecían moviéndose en trayectorias complejas, vistos desde la Tierra. Estas complejas trayectorias eran meramente aparentes; la naturaleza desordenada de las observaciones era, simplemente, el resultado del movimiento del observador sobre la Tierra en movimiento. Sin embargo, aún quedaba un problema, puesto que los movimientos planetarios observados no se ajustaban a la cosmología copernicana, que suponía que los planetas seguían órbitas circulares alrededor del Sol. La razón es, por supuesto, que las órbitas planetarias son elípticas y no circulares. Para explicar las discrepancias entre las observaciones y su teoría cosmológica heliocéntrica, Copérnico empleó muchos de los complejos esquemas geométricos usados por Ptolomeo. Al usar modelos geométricos tradicionales, que explicaban los movimientos planetarios observados en términos de combinaciones

complejas de movimientos circulares, la teoría copernicana puede ser considerada como una reestructuración del *Almagesto,* sobre la base de un cosmos heliocéntrico.

Mientras la astronomía copernicana proporciona un tratamiento de los movimientos planetarios unificado y sistemático, la teoría copernicana no tenía ninguna ventaja matemática decisiva sobre el *Almagesto* de Ptolomeo. Copérnico conservó también una de las suposiciones fundamentales de la astronomía tradicional, el concepto de esferas cristalinas, aunque la noción de un cosmos heliocéntrico estaba en flagrante contradicción con la cosmología y física aristotélicas imperantes. El sistema copernicano es, así, una modificación de la teoría tradicional, más que una ruptura revolucionaria con las ideas astronómicas anteriores. Sin embargo, Copérnico subrayó la contradicción entre su cosmos heliocéntrico y los principios de la cosmología aristotélica. En la primera parte de su tratado, presentó un análisis de los argumentos físicos con la intención de defender las implicaciones físicas de la cosmología heliocéntrica. Recurrió a los argumentos de Oresme que sugerían que la rotación diaria aparente de los cuerpos celestes podía ser explicada igualmente bien si se suponía que los cielos estaban inmóviles y la Tierra giraba, más que suponiendo el movimiento de los cielos visto desde una Tierra inmóvil. Los argumentos físicos que empleó Copérnico en apoyo de su cosmología no eran, en modo alguno, originales o convincentes. Estos argumentos habían sido empleados tradicionalmente como conjeturas plausibles que debilitaban la autoridad de Aristóteles y, por tanto, del intelecto humano, sin connotaciones a teorías físicas concretas.

El libro de Copérnico fue editado por un clérigo luterano, Andreas Osiander (1498-1552), quien incluyó su propio prefacio en el que afirmaba que la teoría descrita en el libro había de ser considerada como un método matemático para facilitar los cálculos astronómicos. Copérnico, por supuesto, había estado de acuerdo con que los complejos recursos geométricos, empleados en su libro, habían de ser entendidos meramente como medios de cálculo, no como descripciones de los movimientos reales de los planetas. No obstante, Osiander también dio a entender que el concepto de un sistema heliocéntrico no debía ser tomado, por sí mismo, como la descripción de una realidad física, sino que simplemente era una hipótesis matemática. En esto parecía diferir de las intenciones probables de Copérnico. Copérnico había estudiado en Italia en la década de 1490 y, allí, probablemente se encontró con la concepción hermética, expresada por Ficino, de la centralidad del Sol en el universo visible, como símbolo de la de Dios en la totalidad de la creación, un argumento que evoca el propio Copérnico. El argumento de Ficino era meramente simbólico, mientras que Copérnico presentaba una cosmología heliocéntrica; pero es probable que el concepto de un Sol central como lámpara del mundo, que ilumina y controla el cosmos, expresara la motivación básica de Copérnico.

La creencia en que la centralidad del Sol en el cosmos expresaba la armonía de la naturaleza, fue crucial para la asimilación del sistema copernicano. El más relevante astrónomo observacional del período, el danés Tycho Brahe (1546-1601), rehusó aceptar el cosmos heliocéntrico copernicano, aunque sus observaciones de cometas que atravesaban el sistema planetario pusieron en cuestión la teoría tradicional de las esferas cristalinas. En la segunda mitad del siglo XVI, se produjo, por esta razón, algún debilitamiento de las ideas astronómicas tradicionales, favorecida por el uso, por parte de Brahe, de un nuevo instrumental observacional. Aunque Brahe no adoptó una cosmología heliocéntrica, legó sus datos observacionales a Johannes Kepler (1571-1630), un astrónomo alemán, entregado por entero a la creencia de que el sistema cosmológico copernicano revelaba la simplicidad y armonía del cosmos. Kepler concibió la estructura de las órbitas planetarias en términos de la perfección de relaciones matemáticas, buscando analogías entre la perfección de estructuras geométricas y el orden de las órbitas planetarias. También pretendió demostrar la relación entre las órbitas planetarias y las armonías musicales, con la ambición de desentrañar la «música de las esferas» pitagórica. Esta vinculación con una cosmología basada en la armonía y la geometría celestes ilustra la importancia continuada de la tradición platónica renacentista. Kepler luchó por una precisión matemática rigurosa, y su obra culminó con la publicación de su *Astronomía nueva** (1609), donde la astronomía matemática tradicional de los movimientos circulares fue abandonada en favor de la suposición de órbitas planetarias elípticas. En esta astronomía nueva y revolucionaria, el cosmos heliocéntrico copernicano fue transformado radicalmente, liberándose de la geometría de círculos y proporcionando la base para la cosmología y física modernas.

La publicación del *De revolutionibus* copernicano inició un proceso en el que se transformó la concepción del lugar del hombre en la naturaleza. A finales del siglo XVII, el cosmos tradicional finito y geocéntrico de Aristóteles fue reemplazado por una concepción del universo de extensión infinita. Las observaciones telescópicas de los cuerpos celestes realizadas por Galileo revelaron montañas en la Luna y las lunas de Júpiter, observaciones que pusieron en cuestión la doctrina aristotélica de la diferencia fundamental de carácter entre la Tierra y los cuerpos celestes, y revelaron que los cuerpos celestes podían girar alrededor de un planeta (Júpiter), en lugar de alrededor de la Tierra. Esta eliminación de la diferencia entre la Tierra y los planetas contribuyó a la creencia de que la Tierra no era única, y a la creencia en que había una pluralidad de mundos como la Tierra. Esta creencia, cada vez más extendida, en una pluralidad de mundos en un espacio infinito amenazó las posturas tradicionales sobre la unicidad del hombre. La Tierra llegó a ser concebida como un planeta, y los cielos fueron privados de su perfección. El

* *Astronomia nova* Αιτιολογήκοζ *seu physica caelestis,* s. l., 1609 *(N. de la t.).*

alejamiento de la Tierra del centro del cosmos y, con ello, el desplazamiento del hombre del punto focal del universo, destruyó la concepción renacentista de las correspondencias entre acontecimientos en la Tierra y los cuerpos celestes. La credibilidad del cosmos astrológico renacentista, que representaba una influencia astrológica de los planetas sobre las acciones humanas, fue finalmente destruida. En 1611, el poeta inglés John Donne lamentó que la «nueva filosofía» ponía «todo en duda». El nuevo sistema heliocéntrico copernicano suponía que el cosmos estaba «despedazado, perdida toda coherencia». Estas observaciones atestiguan la difícil asimilación de las nuevas ideas.

Por último, la noción de un sistema planetario heliocéntrico, y las ideas conexas (que no habían sido sugeridas por el propio Copérnico) de un cosmos infinito y de la pluralidad de mundos semejantes a la Tierra en el universo, se hizo familiar a los hombres cultos. Esta revolución copernicana más amplia llevó a negar la idea tradicional de que el cosmos había sido creado para la utilidad del hombre. En el cosmos medieval geocéntrico, el hombre poseía un lugar central en el drama de la creación, aun cuando la morada terrena del hombre fuese el dominio más humilde en el universo. La aceptación de la noción de la Tierra como un planeta, y de la idea de la pluralidad de mundos, hizo pedazos la doctrina del estatus único del hombre en el cosmos. Los escritores del XVII hacen mención, con frecuencia, de la humillación del orgullo ante la inmensidad de la creación de Dios, viendo a la Tierra como una simple partícula en la amplitud del espacio infinito. Si se tenía que negar que sólo la Tierra era el dominio del cambio, de la generación y de la corrupción, entonces podía haber otros mundos similares al nuestro, esparcidos por el universo. Las fantasías astronómicas se convirtieron en un género literario menor en el siglo XVII; incluso Kepler especuló sobre un viaje a la Luna. Estas confusiones cósmicas fueron ilustradas nítidamente por el astrónomo inglés John Wilkins (1614-1672), al afirmar que los habitantes de otros mundos eran redimidos «por los mismos medios que nosotros, por la muerte de Cristo».

GALILEO: CIENCIA Y RELIGIÓN

El cosmos copernicano heliocéntrico despertó un escaso interés inmediato entre los teólogos. El mismo Copérnico era un canónigo laico de la Iglesia católica, y la Iglesia no reaccionó ante su obra (dedicada al papa), la cual cuestionaba implícitamente la adaptación de santo Tomás entre la teología y la filosofía de Aristóteles. Su obra suscitó algún interés entre los teólogos protestantes quienes, como Osiander, subrayaron que la nueva cosmología debía ser considerada un mero método para efectuar los cálculos astronómicos y afirmaron que, por lo tanto, no había conflicto entre la astronomía copernicana y ciertos pasajes bíblicos que parecían implicar la inmovilidad de la Tierra en el cosmos. Las publicaciones y polémicas del italiano Galileo Galilei (1564-1642) cambiaron esta tranquila situación.

Aunque Galileo aparentemente había sido un copernicano convencido desde hacía varios años, fueron sus observaciones telescópicas, descritas con un brío literario considerable en su *Mensajero sideral** (1610), las que anunciaron públicamente sus ideas astronómicas. Describió sus observaciones de la superficie de la Luna, donde advirtió estructuras cambiantes de luz y sombra. Observó que estas estructuras cambiaban en relación con la posición del Sol y argumentó, por analogía, que esas manchas de luz y sombra eran semejantes al cambio de las sombras proyectadas por las montañas en la Tierra. Concluyó que «la Luna no es lisa, uniforme, sino rugosa, llena de cavidades, como la superficie de la Tierra».

El recurso de Galileo a una analogía entre la Tierra y la Luna tuvo consecuencias importantes, desafiando la teoría aristotélica imperante, que mantenía que la Tierra era el ámbito del cambio, mientras los cuerpos celestes (como la Luna) eran inmutables y perfectos. Galileo insinuó que la existencia de montañas en la Luna implicaba una cosmología heliocéntrica; de acuerdo con la teoría copernicana, la Tierra, la Luna y los planetas eran todos cuerpos planetarios, y si había montañas en la Tierra, entonces, por analogía (sugería Galileo), debería haber montañas en la Luna. La observación de Galileo de las lunas de Júpiter también trajo consigo dificultades para la cosmología geocéntrica, pues las lunas giraban alrededor del planeta Júpiter y no alrededor de la Tierra, un sistema solar (como concebía Copérnico) en miniatura. Si bien Galileo se abstuvo inicialmente de una adhesión directa a la teoría de Copérnico, sus conclusiones generales eran, sin embargo, inequívocas.

El *Mensajero sideral*, y las observaciones astronómicas subsiguientes de Galileo, causaron sensación, y transportaron la teoría copernicana al centro del debate intelectual. Galileo pronto aventó las llamas de la controversia con sus mordaces polémicas, en las que expuso explícitamente y en voz alta la cosmología copernicana. Galileo mostró poco interés por los complejos problemas de la astronomía matemática que habían complicado la simplicidad reclamada por Copérnico para su cosmología. De hecho, Galileo apenas tuvo en cuenta la transformación radical, efectuada por Kepler, de la astronomía matemática, y continuó adhiriéndose a un sistema heliocéntrico, con los planetas moviéndose en órbitas circulares. El interés de Galileo residía en el modelo cosmológico básico de la cosmología heliocéntrica copernicana y en el problema de la creación de un nuevo sistema de principios físicos que pudieran explicar adecuadamente el cosmos heliocéntrico. En lugar

* Existe una traducción castellana de Carlos Solís: *Galileo-Kepler: El mensaje y el mensajero sideral*, Alianza, Madrid, 1984 *(N. de la t.)*.

-9-

de la explicación aristotélica de la centralidad de la Tierra en el universo, como consecuencia de un cuerpo «terroso» pesado desplazándose hacia su lugar natural, Galileo pretendió crear una teoría de la naturaleza en la que los problemas físicos fueran concebidos en términos matemáticos. En sus últimos escritos sobre física, Galileo alcanzó un éxito considerable en esta empresa, demostrando que la caída de los cuerpos a la Tierra podía ser expresada matemáticamente, en términos de una relación entre la distancia y el tiempo de caída, y no meramente (como en Aristóteles) explicada en términos de la tendencia de los cuerpos a moverse hacia su lugar natural. Mientras Aristóteles consideró las matemáticas inaplicables al mundo físico real, Galileo trataba de crear una física que estuviera basada en la matematización.

La denigración por parte de Galileo de Aristóteles era fundamental para su adhesión al cosmos copernicano, pero basó inicialmente su pretensión de haber establecido la verdad de la cosmología heliocéntrica en sus observaciones telescópicas. Las polémicas de Galileo, ocurridas durante el período de la Contrarreforma, pronto provocaron la hostilidad de los teólogos católicos italianos. El ataque a Aristóteles puso en cuestión la aceptación eclesiástica del amplio marco de la cosmología de Aristóteles como compatible con la teología cristiana. La afirmación de que la Tierra estaba en movimiento parecía chocar con algunos pasajes bíblicos que, aparentemente, implicaban la inmovilidad de la Tierra. Lo más importante de todo es que, al pretender haber establecido la verdad de la cosmología heliocéntrica, Galileo entró en conflicto con la concepción eclesiástica de la teología como reina de las ciencias, y con las pretensiones de la teología de tener autoridad sobre todas las otras formas de conocimiento. La Iglesia subrayaba la ausencia de certeza de todo conocimiento físico; la elección entre teorías físicas rivales sólo podía hacerse por referencia a la doctrina cristiana. Por el contrario, Galileo declaró que la verdad del sistema copernicano podía ser establecida mediante la ciencia; y que él, además, lo había demostrado.

La confrontación entre Galileo y la Iglesia católica es representada, a menudo, simplemente como un conflicto entre ciencia y autoridad religiosa. Esta interpretación es demasiado simple. El asunto envolvía también una cuestión de personalidad. Galileo se comportó constantemente en forma imprudente, y rechazó reconocer la dificultad de establecer teorías físicas como verdades ciertas. Convencido de su omnisciencia, Galileo bien pudo haber entrado en una confrontación donde una persona más cauta podría haber conseguido un compromiso. La Iglesia parece haber mostrado una cierta disposición para aceptar la cosmología heliocéntrica como base plausible para el cálculo matemático, pero rechazando admitir que tuviera el rango de una verdad física establecida. Desinteresado del simple cálculo matemático, Galileo insistió en que había establecido la verdad física de la teoría copernicana, y en su *Carta a la Gran Duquesa Cristina* (1615) fue lo

suficientemente incauto como para embarcarse en polémicas teológicas. Galileo argüía —en ningún modo de forma original, pero sí de forma claramente imprudente— que el lenguaje de la Biblia no estaba expresado en términos científicos, sino que fue escrito para la comprensión de los ignorantes. Así, las referencias aparentes a una Tierra inmóvil no tenían la fuerza de las verdades físicas, sino que solamente describían la conciencia del sentido común de que la Tierra aparecía fija, inmóvil.

El resultado fue la condena por el Santo Oficio, en 1616, de las doctrinas copernicanas del cosmos heliocéntrico y la movilidad de la Tierra como filosóficamente absurdas y heréticas al contradecir la Biblia. Galileo fue amonestado formalmente y *Sobre las revoluciones de las esferas celestes* de Copérnico fue incluido en el Índice de libros prohibidos. Galileo no se desalentó completamente y continuó desarrollando sus argumentos físicos en apoyo del sistema copernicano. Conforme con discutir el sistema copernicano puramente como una explicación hipotética de los movimientos planetarios, publicó su *Diálogo sobre los sistemas máximos** (1632), una discusión de los sistemas de astronomía ptolemaico y copernicano. El argumento del libro casi era imparcial, pero sí fuertemente contrario y despectivo con respecto tanto a Aristóteles como a Ptolomeo. La admisión de que la teoría copernicana era hipotética, porque Dios podía haber ordenado el universo de muchas formas, pareció claramente a la autoridad eclesiástica una simple compensación. Galileo fue llevado a juicio por la Inquisición, y acusado de haber desobedecido un mandato de 1616 según el cual no debía sostener, enseñar o defender la astronomía copernicana.

Es probable que este mandato, que sirvió como base legal para su proceso, fuera una falsificación; ciertamente, el mismo Galileo tenía un documento que declaraba de forma autorizada que únicamente había sido amonestado y que no había accedido a retractarse de ninguna de sus opiniones. Pero Galileo había rebasado claramente la base acordada para la discusión de la astronomía copernicana. Aunque fue obligado formalmente a abjurar de su fe en el sistema copernicano, sus libros habían hecho mucho para demostrar su validez, a pesar de que la adhesión de Galileo a las órbitas planetarias circulares comenzó a parecer anticuada con la aceptación gradual de la teoría kepleriana de las órbitas elípticas. Cualesquiera que fuesen las complicaciones engendradas por las peculiaridades de la personalidad de Galileo, el conflicto entre él y la Iglesia Católica puso de relieve un importante principio, que es característico de la Revolución científica: la exigencia galileana de una independencia del conocimiento natural con respecto al control teológico, y su afirmación de la integridad y autoridad de los métodos de la ciencia. El problema de la autoridad está, así, en el corazón del asunto.

* La traducción castellana, editada por J. M. Revuelta, ha sido publicada por Aguilar, Buenos Aires, 1975 *(N. de la t.)*.

Galileo rechazó la pretensión tradicional de que, como reina de las ciencias, la teología tenía autoridad sobre todas las otras formas de conocimiento. Los métodos de la ciencia, basados en la observación y en la matemática, podían descubrir los secretos de la naturaleza.

BACON: LA REFORMA DEL SABER

Los escritos de Francis Bacon (1561-1626), Lord Canciller bajo Jacobo I, ejercieron una profunda influencia sobre la tradición científica del siglo XVII y su marco cultural. Bacon no era un científico, sino un ensayista y un filósofo moral. Obras suyas como el *Advancement of Learning* (1605), la *Instauratio Magna** (1620) y la *New Atlantis*** (1627) eran, a un tiempo, críticas del conocimiento contemporáneo y visionarias y utópicas al ofrecer un esquema para la reforma y reconstrucción del saber. La fuerza de la argumentación baconiana residía en incitar al estudio del libro divino de la naturaleza como complemento del estudio de la Biblia, el libro de la palabra de Dios. La reconstrucción del saber permitiría a la ciencia dirigirse hacia la renovación de la humanidad, aunque los métodos de las ciencias deberían ser liberados de las distorsiones y estorbos ejercidos tradicionalmente por la autoridad religiosa.

Bacon criticó el saber de las universidades, donde Aristóteles era tan dominante como estéril y árido; los comentadores de Aristóteles sólo eran arañas que tejían telarañas filosóficas. Los artesanos eran como hormigas que coleccionaban solamente información y técnicas. Bacon instó a que el estudiante de la naturaleza debería emular a la abeja, reuniendo información y transformándola en un sistema de conocimiento. El método de las ciencias debería comenzar con un examen enciclopédico de todo el saber, y debería cribar y clasificar la información sobre el mundo natural mediante la recolección minuciosa y la comparación de datos. La producción del conocimiento de la naturaleza debería basarse en un método experimental; no simplemente en la recolección de datos, sino en el cuidadoso análisis de la información producida por el experimento. Mientras los «experimentos luminíferos» deberían revelar principios generales, los «experimentos fructíferos» deberían generar, fundamentalmente, resultados prácticos que beneficiarían a la humanidad.

Este método barrería los impedimentos del saber que habían estorbado todos los intentos anteriores para entender el mundo natural. Bacon ilustró

* Existe traducción castellana, a cargo de Miguel A. Granada: *La Gran Restauración*, Alianza, Madrid, 1985 *(N. de la t.)*.

** Existe traducción castellana, a cargo de A. Millares Carlo: *La Nueva Atlántida*, en Bacon, Moro, Campanella, *Utopías del Renacimiento*, Fondo de Cultura Económica, México, 1966 *(N. de la t.)*.

estos impedimentos mediante la metáfora de los cuatro «ídolos», falsas imágenes que distorsionaban nuestra comprensión del mundo real. Los «ídolos de la tribu» eran componentes innatos de la mente humana, inadecuaciones de nuestros sentidos que conducían a los hombres al error. Los «ídolos del foro» eran las fuerzas impuestas por la naturaleza engañosa del lenguaje. Los «ídolos de la caverna» derivaban de la educación peculiar y hábitos de cada individuo, los cuales ilustró Bacon mediante el mito de Platón en el que un hombre, encadenado a la pared de una caverna, sólo puede percibir las sombras vacilantes del mundo exterior. Los «ídolos del teatro» eran los falsos sistemas filosóficos del pasado, sistemas que Bacon declaró debían ser barridos por su método experimental.

Bacon afirmó que el nuevo método de conocimiento procuraría los medios para emancipar las mentes humanas de estos «ídolos». Fustigó los fraudes de la magia y atacó a Paracelso por intentar encontrar las verdades de la naturaleza apelando a la inspiración divina. La magia era un fraude en sus pretensiones, pero reconoció que sus fines eran nobles por buscar el control de la naturaleza. Bacon rechazó la oscuridad y vanas pretensiones de la magia: «no hay que añadir plumas al entendimiento humano, sino más bien plomo y pesos».* La ciencia debía ser desarrollada en forma disciplinada y ordenada, situando «todos los ingenios y entendimientos casi a un mismo nivel», con lo cual daba a entender que, en la búsqueda del conocimiento, como la abeja al reunir néctar, el hombre debe proceder en forma cuidadosa y ordenada.

Para Bacon la ciencia debía ser desarrollada de forma disciplinada, mediante la renuncia al orgullo intelectual de los filósofos universitarios en lo tocante a la doctrina cristiana; sin embargo, la ciencia debía ser dirigida hacia un fin religioso: la «restitución y retorno del hombre a la soberanía y poder ... que tenía en el primer estado de la creación». Así Bacon buscaba la redención de la humanidad de las consecuencias del pecado original; habiendo perdido su dominio sobre la naturaleza con la Caída, el hombre debe recuperarlo, con paciente humildad, a través del trabajo y las operaciones manuales. Bacon mantuvo que «el conocimiento es una planta de la propia plantación de Dios»; la restauración del conocimiento debe ser perseguida por un «legítimo, casto y severo curso de la investigación». Los poderes de la naturaleza deberían ser capturados y controlados, como concibieron los textos herméticos, aunque mediante un método nuevo apropiado. Bacon citaba el Libro de Daniel en el Antiguo Testamento, según el cual «muchos pasarán y crecerá la ciencia»,** como apoyo de su afirmación de que su propia edad sería testigo del restablecimiento del saber.

Bacon citaba los tres inventos del compás, la pólvora y la imprenta como

* *Novum Organum*, I, 104 *(N. de la t.)*.

** Daniel, 12, 4; véase *Novum Organum*, I, 93 *(N. de la t.)*.

apoyo de su tesis de que los logros de los artesanos señalaban que las artes mecánicas eran el modelo para una ciencia experimental y colaboracional. Mientras los propósitos del estudio de la naturaleza eran esencialmente religiosos (la restauración del conocimiento y dominio humanos sobre la naturaleza, con lo cual el destino espiritual del hombre se asociaba a la restauración del saber), rechazó la mezcla del conocimiento natural y religioso característica de los falsos sistemas filosóficos del pasado. Estas metas y métodos deberían ser alcanzados en la hermandad de científicos que denominó Casa de Salomón, donde la persecución del saber debía ser cultivada como un medio para la renovación del hombre.

La importancia de Bacon reside en su adhesión vigorosa al método experimental como la clave para la comprensión de la naturaleza, y en colocar este método y la adquisición del conocimiento natural dentro del marco de una concepción esencialmente religiosa de las metas de la ciencia. El siglo XVII fue un período en el que las actitudes religiosas desempeñaron un papel importante a la hora de sancionar las actividades humanas. Al asociar la empresa científica con los vínculos teológicos últimos del hombre, los escritos de Bacon subrayaron una motivación importante que condujo a los hombres a estudiar el mundo natural. El científico se convirtió en el sacerdote de la naturaleza.

La tradición baconiana y el movimiento puritano

La importancia de las motivaciones teológicas que condujeron a los hombres al estudio del mundo natural ha llevado a algunos historiadores a asociar la posición calvinista de autocontrol y diligencia con un interés en el cultivo de la ciencia, y a afirmar que el puritanismo era especialmente apto para suministrar una motivación religiosa a la actividad científica en la Inglaterra del siglo XVII. Esta tesis es empleada con frecuencia para explicar la importancia de la ciencia en la Europa protestante y, en especial, en Inglaterra en el siglo XVII. Sin embargo, es evidente que muchos puritanos cuestionaron el valor religioso del estudio de la naturaleza, y que mientras las motivaciones teológicas jugaron un papel importante a la hora de fomentar el estudio de la naturaleza en la temprana Inglaterra moderna, estas motivaciones (como mostraremos más adelante) abarcaron una variedad de actitudes religiosas y propuestas diferentes para el estudio de la naturaleza. No obstante, en este marco de conexiones entre actitudes religiosas y concepciones de la naturaleza, la obra de los intelectuales puritanos, desde la década de 1620 hasta la Restauración de 1660, resulta especialmente importante. Apelando a los escritos de Bacon, estos hombres fomentaron una dedicación al estudio de la naturaleza como contrapartida al estudio de la Biblia.

Reformadores puritanos, en especial el emigrado prusiano Samuel Hartlib y su círculo, acentuaron la importancia de la reforma de la educación y el estudio de la medicina, la tecnología, la agricultura y la planificación económica, temas relevantes para su creencia en que la restitución del dominio del hombre sobre la naturaleza tendría profundos fines humanitarios. El régimen parlamentario implantado durante la guerra civil vio con simpatía esas intenciones y suministró alguna ayuda financiera para su realización. Al igual que Bacon, estos escritores recurrían a los libros proféticos de la Biblia, asociando la restauración del saber y el retorno del dominio humano sobre la naturaleza con la renovación del hombre. La restauración del saber llegó a ser vista como el medio para la realización del paraíso utópico, una regeneración intelectual, basada en la ciencia experimental, cuyo significado último era inteligible en términos de los textos proféticos de la Biblia que prometían la redención del hombre. Su programa humanitario y utilitarista para la explotación del conocimiento científico estaba basado en la creencia en su relevancia para el progreso social y la ilustración espiritual.

Estas actitudes y vinculaciones puritanas en ningún modo caracterizan todos los aspectos de la ciencia inglesa en el siglo XVII. Sin embargo, la fuerza visionaria de los escritos de Bacon ejerció una influencia importante sobre el carácter intelectual del período, actitudes que fueron fomentadas por sus seguidores puritanos. La general orientación teológica de la ciencia inglesa del siglo XVII indica que estas actitudes tuvieron un impacto importante a la hora de motivar a los individuos hacia el estudio de la naturaleza. Muchos de los científicos ingleses prominentes del período estaban afectados por esta tradición; mientras eran elogiados con frecuencia los preceptos de Bacon para la búsqueda del conocimiento natural mediante la aplicación del método experimental, la orientación religiosa de su programa de ilustración científica configuró el continuo énfasis en el valor religioso del conocimiento natural.

Descartes: la mecanización de la imagen del mundo

El desarrollo de la concepción mecanicista de la naturaleza en el siglo XVII constituyó el ataque más profundo contra los principios cosmológicos del hermetismo renacentista. Las obras del filósofo y matemático francés René Descartes (1596-1650) suministraron el modelo más sistemático e influyente de la visión mecánica de la naturaleza. Descartes concibió su física como un sistema racional, basado en principios filosóficos, cuya verdad estaba garantizada por la veracidad de Dios, un sistema de ciencia concebido como una refutación total tanto de la física aristotélica como de la teoría de los poderes activos elaborada por la magia natural.

Descartes afirmó que toda realidad estaba compuesta de dos sustancias: espíritu (una sustancia caracterizada por el pensamiento) y materia (una sus-

tancia caracterizada por su extensión espacial). El espíritu no poseía ninguna de las propiedades características de la materia, y toda la realidad material, sostenía Descartes, era inerte y estaba desprovista de cualquier poder interno de actividad. Afirmaba que todas las sustancias y fenómenos físicos surgían de la materia en movimiento, y la acción por contacto entre porciones extensas de materia era la única forma de cambio en la naturaleza. Esta concepción de la naturaleza está en marcado contraste con la física de Aristóteles y con aquella teoría de la materia penetrada por poderes activos, que era característica de la tradición de la magia natural. La rígida separación de materia y espíritu, y el énfasis sobre la materia en movimiento como base de la explicación científica, proporcionó un nuevo marco conceptual para la teorización científica. Esta imagen mecanicista del mundo, si no todos los principios filosóficos de Descartes, tuvo una profunda influencia sobre la ciencia posterior, y es fundamental para la Revolución científica.

Al rechazar los fundamentos del saber contemporáneo, Descartes pretendió someter cada idea a un examen riguroso mediante un programa de duda sistemática. Encontró la base de la certeza en su propia existencia: «pienso, luego existo». A partir de ahí concluyó que el mundo material existía, y sostuvo que la extensión espacial de los cuerpos era la base de toda realidad material. Propiedades de los cuerpos tales como calor o color, que Aristóteles había atribuido a cualidades específicas de calor o color en los cuerpos, no fueron concebidas por Descartes como constituyentes reales del mundo material. Las diversas propiedades de las que tenemos conciencia a partir de la experiencia sensible sostenía que eran una guía ilusoria para las verdaderas características del mundo material. Según la filosofía mecánica de Descartes, los cuerpos están constituidos únicamente por partículas de materia en movimiento; aparte de la extensión, las propiedades que percibimos en la experiencia sensorial son meramente aparentes, el resultado de partículas de materia que excitan nuestros órganos sensoriales.

En sus *Principios de la Filosofía* (1644), Descartes intentó establecer que una amplia variedad de fenómenos —magnetismo, estructura del sistema planetario y fenómenos orgánicos— podían ser explicados en términos de materia en movimiento. Al igual que en la geometría las demostraciones se deducen a partir de unos axiomas fundamentales, en la física de Descartes las explicaciones mecánicas de los fenómenos se deducen de los primeros principios de materia y movimiento. La teoría de Descartes sobre la materia suponía tres «elementos» o formas fundamentales de materia, diferenciadas por el distinto tamaño y movimiento de sus partículas, y explicaba la rotación de los planetas en términos del flujo de partículas más pequeñas que éstos arrastran consigo. Basada en el concepto de materia en movimiento, esta teoría suministró un modelo físico del sistema planetario alternativo a la teoría tradicional de las esferas cristalinas. El magnetismo había sido considerado tradicionalmente como un ejemplo obvio de un poder activo,

pero Descartes proporcionó una teoría mecánica en la que se sostenía que partículas en forma de tornillo causaban la acción magnética. Las funciones orgánicas eran explicadas en términos mecánicos; los animales, al carecer de alma, eran concebidos como meras máquinas complejas.

Descartes no concebía sus modelos mecánicos como una descripción de los mecanismos físicos presentes, de hecho, en la naturaleza, sino como una simple ilustración de la posibilidad de explicar los fenómenos naturales en términos de materia en movimiento. Descartes no pretendió descubrir nuevos fenómenos o investigar la naturaleza experimentalmente, aunque reconoció que los experimentos serían necesarios para contrastar explicaciones mecánicas alternativas. Las intenciones de Descartes eran esencialmente filosóficas: transformar la base misma sobre la que las explicaciones físicas estaban construidas. Tratando de refutar los presupuestos de la física aristotélica y la visión del mundo de la magia natural, Descartes pretendía establecer que la naturaleza podía ser representada por medio de leyes mecánicas de la materia en movimiento. Descartes buscó explicaciones de los fenómenos perceptibles por la experiencia sensorial recurriendo a mecanismos de partículas de materia en movimiento. Esto llegó a ser el principio básico de la visión mecánica del mundo del siglo XVII y, mientras los mecanismos físicos que Descartes inventó para explicar fenómenos tales como el magnetismo y los movimientos planetarios fueron criticados con frecuencia por carecer de soporte empírico alguno, por ser «ficciones», productos de la imaginación en lugar de demostración matemática y experimental, su importancia reside en haber establecido la base fundamental sobre la que iba a descansar la ciencia posterior.

El impacto de la filosofía mecánica puede verse examinando la manera cómo se hacía la ciencia en la segunda mitad del siglo XVII. Los principios mecánicos fueron aplicados al estudio de la transmisión de la luz, al estudio de reacciones químicas en términos de las formas de las partículas químicas, y al estudio del cuerpo humano. El estudio de las leyes de la mecánica pasó a ser el punto central del debate científico. Los procesos mecánicos, el impacto de las partículas, la operación de palancas, parecían procurar la base para la comprensión de todos los procesos naturales.

La «Royal Society» y la visión mecánica del mundo

La fundación de la «Royal Society» de Londres en la Restauración de Carlos II, en 1660, marca un giro importante en el surgimiento de la nueva visión del mundo. No había una única ortodoxia científica que caracterizara el punto de vista de sus miembros; de hecho, las posiciones cubrían un amplio espectro, desde una rígida adhesión a los principios de Descartes,

hasta la aceptación reiterada de la alquimia y la magia natural. Además, las actividades reales de la Sociedad eran, con frecuencia, más bien triviales. Sin embargo, el núcleo dominante de la Sociedad, incluyendo a Robert Hooke (1635-1703) y a Robert Boyle (1627-1691), favoreció una aproximación mecánica a la explicación de los procesos naturales, sobre la base de la aplicación del método experimental baconiano.

Estos hombres debían mucho a Bacon, pero deseaban distinguir su visión de la ciencia, basada en el método experimental baconiano, de las actividades de los seguidores puritanos de Bacon. Proclamaron una visión del mundo natural como un sistema mecánico que podía ser comprendido por la razón humana, y mantuvieron que las pasiones y los delirios espirituales del sombrío período del interregno podían ser disipados mediante el estudio racional de la naturaleza. El estudio de la naturaleza, si se llevaba a cabo de la manera adecuada, traería consigo la creencia en el poder y la sabiduría de Dios. El conocimiento de la naturaleza produciría un conocimiento de las obras de Dios, que llevaría a una nueva reverencia hacia Dios. El entusiasmo reformador de los puritanos, que había tendido a la adopción de una imagen de la naturaleza basada en la magia natural más que en las matemáticas y la filosofía mecánica, sería reemplazado por el estudio de la naturaleza, sobrio, piadoso, racional y experimental.

Detrás de las polémicas y apologías subyacen algunas investigaciones clásicas en ciencia experimental e interpretaciones de fenómenos naturales mediante el recurso a principios mecánicos. La obra de Hooke sobre óptica y microscopia, los estudios de Boyle en el ámbito de la química y sobre las propiedades físicas de los gases, fueron modelos de cuidadosa experimentación. La teoría de la naturaleza en términos de partículas de materia en movimiento proporcionó la base explicativa de este trabajo, un modelo de procesos naturales susceptible de medida y cálculos. Boyle explicó la presión barométrica en términos de «salto» en las partículas de aire, y estableció, mediante una precisa experimentación, la «ley de Boyle», acerca de la relación entre la presión y el volumen de los gases. Estos trabajos, aunque difícilmente eran representativos de las actividades de la «Royal Society» en su conjunto, sin embargo, ejemplificaron el nuevo estilo de experimentación exacta, basado en el recurso a la visión mecánica del mundo, que se convirtió en la aproximación dominante al estudio del mundo natural en manos de una nueva y experta élite científica.

La adopción de la filosofía mecánica planteó, sin embargo, algunas dificultades intelectuales. Al mantener que la filosofía mecánica pretendía reducir todos los fenómenos naturales a los dos principios de materia y movimiento, Boyle deseaba subrayar que su concepción de la visión mecánica del mundo era compatible con la creencia religiosa. La rígida demarcación cartesiana entre espíritu y materia, y su explicación de la naturaleza en términos únicamente de materia en movimiento, pareció a algunos críticos una teoría «materialista» incompatible con la visión cristiana del universo como sujeto a la providencia divina.

Para mitigar estas dudas, Boyle expuso su propia versión de la filosofía mecánica. Según él, la naturaleza estaba constituida por partículas, o átomos, definidos por su forma y dureza. La materia era inerte, su actividad y leyes dependían de la intervención activadora de la voluntad divina. Para explicar la relación entre Dios y la naturaleza, Boyle empleó, como metáfora, una analogía entre el rey y sus súbditos. Igual que el rey establecía leyes que sus súbditos obedecían, por analogía, la materia dependía para sus leyes de la providencia y voluntad de Dios.

Boyle defendió la explicación de los fenómenos naturales en términos de leyes de la naturaleza, argumentando que el estudio de la naturaleza revelaría la armonía del cosmos y el diseño divino de la naturaleza. Además, el conocimiento de las leyes naturales permitiría al científico, como sacerdote de la naturaleza, distinguir los actos verdaderamente milagrosos de Dios del asombro supersticioso ante lo inusual. La razón y la revelación eran complementarias, una ofrecía el conocimiento de las obras de Dios y la otra el conocimiento de la palabra revelada de Dios. A través de la filosofía mecánica, la naturaleza podía ser entendida por la razón; de hecho, el estudio de la naturaleza mediante el ejercicio de la razón fue concebido como un deber religioso.

Los escritos teológicos de Boyle indican el carácter de las tensiones intelectuales del período. Con el desarrollo de la filosofía mecánica se había alcanzado una nueva base para la representación de la naturaleza. La metáfora del reloj, evocada por Boyle y otros, suministró la nueva imagen del mundo natural. Dios pasó a ser concebido como análogo a un relojero; el curso armonioso de la naturaleza, de acuerdo con las leyes divinas, fue comparado al suave funcionar de un reloj. El poder y la sabiduría de Dios fueron vistos como revelados en el diseño del universo-reloj. La imagen mecánica de la naturaleza y el concepto cristiano de la divinidad se encontraron, así, reconciliados.

La visión newtoniana del mundo

Se considera generalmente que la física matemática y mecánica de Isaac Newton (1642-1727) es la culminación de la Revolución científica. En sus *Principios matemáticos de filosofía natural** (1687), Newton desarrolló las discusiones anteriores sobre mecánica en sus propias y clásicas «leyes de movimiento» newtonianas, y suministró una cosmología y una física coherentes,

* Existe traducción castellana: *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo,* edición preparada por A. Escohatado, Editora Nacional, Madrid, 1982 *(N. de la t.).*

basadas en la doctrina kepleriana de que los planetas giran en órbitas elípticas alrededor del Sol. Mediante el recurso al concepto de una «fuerza de atracción» gravitatoria que actúa a través del espacio vacío, Newton fue capaz de proporcionar una base segura para la nueva astronomía del siglo XVII.

Newton fue muy crítico en la explicación cartesiana del movimiento planetario, en términos de un fluido que impregna el universo y actúa sobre los planetas. Los complejos mecanismos inventados por Descartes le parecieron a Newton completamente especulativos, carentes de soporte matemático o experimental alguno. Es más, Newton fue capaz de mostrar que su propio concepto de una fuerza de atracción de la gravedad, que estaba basado en un tratamiento matemático del movimiento planetario, era incompatible con la teoría cartesiana del sistema solar. A Newton también le disgustaba la explicación que Descartes había efectuado de la gravedad por medio de la simple materia en movimiento. Por el contrario, Newton afirmó que su concepto de la fuerza de gravedad, basado rigurosamente en la demostración matemática, sólo podía ser explicado, en última instancia, como la manifestación de la acción divina en la naturaleza. La cosmología newtoniana estaba basada en una mecánica matemática que describía la estructura del mundo físico, pero que sólo podía ser entendida plenamente por medio de un recurso a principios teológicos. Newton declaró que, sin la intervención divina periódica, el sistema planetario llegaría a desordenarse; la naturaleza se descompondría y necesitaría ser restaurada constantemente. Siguiendo el principio básico de la filosofía mecánica, Newton declaró que, puesto que la materia misma era completamente inerte y desprovista de toda actividad interna, la reactivación del mundo natural sólo podía ser obra de la acción divina. Proponiendo una versión matemáticamente precisa de la filosofía mecánica, Newton insistió en que su cosmología era completamente compatible con la visión cristiana del universo.

Newton mantuvo que la intención última del estudio de la naturaleza era arrojar luz sobre el problema de la relación de Dios con la naturaleza, entender el cosmos incluyendo a Dios como el creador y conservador de la naturaleza. Aunque rechazó la concepción hermética del cosmos, apoyó su teoría de la gravedad recurriendo a la tradición de una sabiduría antigua, sosteniendo que su concepto de gravitación era una restauración de ideas conocidas por Pitágoras y que habían estado escondidas tras una fraseología enigmática. La tarea del estudioso del mundo natural consistía en redescubrir el verdadero sistema del mundo, la restauración de la sabiduría antigua mediante el uso del experimento y la matemática. Además de su teorización y experimentación físicas, Newton se dedicó a estudios bíblicos y alquímicos que pretendían penetrar en el conocimiento oculto, descubrir la armonía entre conocimiento natural y revelado. Newton aspiraba a alcanzar un conocimiento universal, combinando la sabiduría antigua, los secretos de los

alquimistas, el conocimiento revelado de los profetas y el estudio experimental y matemático de la naturaleza. Aunque este objetivo se le escapó inevitablemente, supo ver que su meta era tanto la restauración de un conocimiento de la naturaleza verdadero como el retorno del hombre a un estado de perfección moral.

Newton concebía el cosmos como ilimitado, como infinito en extensión. Aquí estaban presentes, de nuevo, principios teológicos para justificar esta concepción del universo. El espacio fue concebido como la morada de la divinidad; Dios estaba presente en el espacio infinito del cosmos newtoniano y el universo era el «templo de Dios». Por medio de la fuerza de gravedad, Dios sustentaba las operaciones de la naturaleza. Los movimientos de la materia eran descriptibles por leyes matemáticas, pero las acciones fundamentales del universo eran el resultado del poder activador de la acción divina. El universo mecánico era como un reloj que requería revisión y limpieza. Newton trataba así de completar su filosofía mecánica con su concepción de la providencia divina. La sola ciencia natural, basada en el análisis matemático de los movimientos de los cuerpos, procuraba únicamente una visión parcial y fugaz de la estructura de la creación.

Conclusión

El triunfo de la teoría mecanicista de la naturaleza, del universo-reloj, sobre la física y cosmología aristotélicas y la tradición de la magia natural hermética, tuvo una influencia decisiva en el clima intelectual. A finales del siglo XVII, se produjo un debilitamiento de las creencias tradicionales en astrología, brujería y curación mágica. Los hombres cultos dejaron de considerar el universo como un entramado de afinidades y poderes ocultos, con el hombre en el centro, morando en una tierra única. La credibilidad del cosmos astrológico fue sacudida. La concepción orgánica del universo, que suponía que la materia poseía poderes activos internos, fue desplazada por la concepción mecanicista del mundo, que suponía que la materia era inerte y carente de actividad. En este nuevo universo-reloj, el experimento y las matemáticas eran los medios para entender y controlar.

La Revolución científica cambió fundamentalmente la concepción que el hombre tenía de su lugar en la naturaleza. Pero, si el orgullo del hombre era humillado al ser alejado del centro del escenario en el drama de la creación, la Revolución científica produjo un optimismo sin precedentes en lo referente a las capacidades humanas. Aunque la ciencia consiguió pocos avances tecnológicos significativos antes de 1800, había una creencia general en que el conocimiento científico tenía importancia práctica. En la cultura europea la ciencia simbolizaba la racionalidad, la mejora, el progreso y la promoción del bienestar humano. Por último, los principios teológicos, que